



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Motor listrik adalah mesin listrik yang berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi gerak mekanik, dimana energi mekanik tersebut berupa putaran dari motor. (Sumanto: 1995: 1).

Menurut sumber tegangan yang digunakan, motor listrik dapat dibedakan menjadi dua, yaitu motor listrik DC dan motor listrik AC. (Theraja: 1984: 845) Sedangkan menurut prinsip kerjanya motor listrik dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu:

1. Motor sinkron

Motor sinkron adalah motor listrik AC, yang pada kondisi *steady*, kecepatan putaran rotornya tersinkronisasi atau sebanding dengan frekuensi gelombang arus AC.

2. Motor asinkron

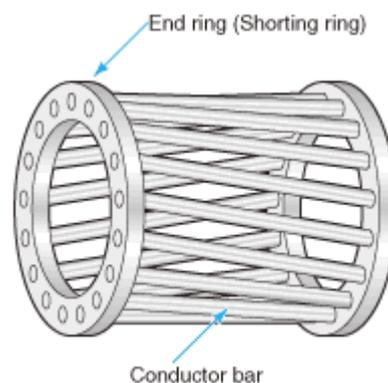
Motor Asinkron juga dikenal dengan nama motor induksi. Motor induksi merupakan motor arus bolak balik (AC) yang paling banyak digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor antara medan putar (rotating magnetic field) yang dihasilkan oleh arus stator. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban, akan memperbesar kopel motor, yang oleh karenanya akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar. Jadi, bila beban motor bertambah, putaran motor cenderung menurun. Pada umumnya motor induksi terbagi menjadi dua macam jenis berdasarkan jumlah fasa yang digunakan, yaitu : motor induksi satu fasa dan motor induksi tiga fasa. (Zuhal, 1988: 101)



Pengklasifikasian motor induksi adalah berdasarkan desain dari rotornya. Ada dua macam desain rotor motor induksi tersebut yakni :

1) Motor rotor sangkar

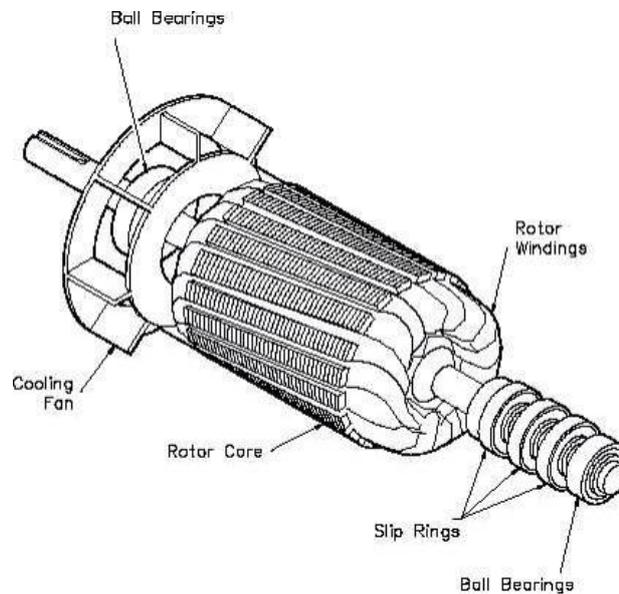
Rotor motor induksi tipe ini berbentuk unik seperti sangkar tupai, maka dari itu diberi nama rotor sangkar tupai. Rotor ini berbentuk silinder yang menjadi satu dengan porosnya. Pada sisi tepi silinder terdapat beberapa batang konduktor (biasanya berbahan tembaga atau aluminium) yang disusun hampir sejajar dengan poros, serta terikat dengan sebetuk cincin pada ujung-ujungnya sehingga nampak menyerupai bentuk sangkar tupai.



Gambar 2.1 Susunan Batang Konduktor Rotor *Squirrel Cage*

2) Motor rotor slip ring

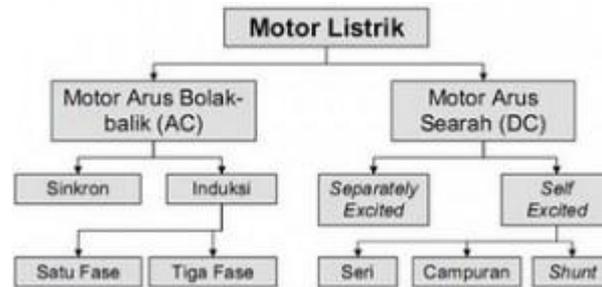
Motor induksi tipe selanjutnya sebenarnya juga menggunakan bentuk sangkar tupai pada batang konduktornya. Hanya saja, rotor motor ini tidak menggunakan inti besi, melainkan menggunakan lilitan kawat kumparan yang dilengkapi dengan *slip ring*. Namun kumparan dan slip ring rotor tidak digunakan sebagai sistem eksitasi, namun digunakan untuk menciptakan resistansi atau hambatan pada rotor ketika penyalaan awal.



Gambar 2.2 Motor Induksi Dengan Slip Ring

Motor induksi berdasarkan jumlah fasa dapat diklarifikasikan menjadi dua kelompok utama (Parekh,2003) :

- Motor induksi satu fasa. Motor ini hanya memiliki satu gulungan stator, beroperasi dengan pasokan satu fase, memiliki sebuah rotor sangkar tupai, dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya, sejauh ini motor induksi satu fase merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti fan angin dan lain-lain serta untuk penggunaan hingga 3 sampai 4 Hp.
- Motor induksi 3 fasa. Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fase yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat memiliki kandang tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor kandang tupai); dan penyalan sendiri diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis ini, sebagai contoh belt conveyor dll yang tersedia dalam ukuran 1/3 hingga ratusan Hp.



Gambar 2.3 Klasifikasi Jenis Motor Listrik

Motor DC adalah motor listrik yang memerlukan suplai tegangan arus searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi gerak mekanik.

Jenis-jenis motor DC:

- Penguat terpisah

Motor jenis ini, penguat magnetnya mendapat arus dari sumber tersendiri dan terpisah dengan sumber arus ke rotor. Sehingga arus yang diberikan untuk jangkar dengan arus yang diberikan untuk penguat magnet tidak terikat antara satu dengan lainnya secara kelistrikan.

- Penguat sendiri

Motor jenis ini yaitu jika arus penguat magnet diperoleh dari motor itu sendiri. Berdasarkan hubungan lilitan penguat magnet terhadap lilitan jangkar motor DC dengan penguat sendiri dapat dibedakan :

a. Motor Shunt

Motor ini dinamakan motor DC shunt karena cara pengkabelan motor ini yang parallel (shunt) dengan kumparan armature. Motor DC shunt berbeda dengan motor yang sejenis terutama pada gulungan kawat yang terkoneksi parallel dengan medan armature. Kita harus ingat bahawa teori elektronika dasar bahwa sebuah sirkuit yang parallel juga disebut sebagai shunt. Karena



gulungan kawat diparalel dengan armature, maka disebut sebagai shunt winding dan motornya disebut shunt motor.

b. Motor Seri

Motor ini dipasang secara seri dengan kumparan armature. Motor ini, kurang stabil. Pada torsi yang tinggi kecepatannya menurun dan sebaliknya. Namun, pada saat tidak terdapat beban motor ini akan cenderung menghasilkan kecepatan yang sangat tinggi. Tenaga putaran yang besar ini dibutuhkan pada elevator dan Electric Traction. Kecepatan ini juga dibutuhkan pada mesin jahit.

c. Motor Kompon

Motor Kompon DC merupakan gabungan motor seri dan shunt. Pada motor kompon, gulungan medan (medan shunt) dihubungkan secara paralel dan seri dengan gulungan dinamo (A). Sehingga, motor kompon memiliki torque penyalaan awal yang bagus dan kecepatan yang stabil. Makin tinggi persentase penggabungan (yakni persentase gulungan medan yang dihubungkan secara seri), makin tinggi pula torque penyalaan awal yang dapat ditangani oleh motor ini. Dalam industri, motor ini digunakan untuk pekerjaan apa saja yang membutuhkan torsi besar dan kecepatan yang constant.

2.2 Motor Satu Fasa

Pada motor induksi 3 fase, fluks magnet yang terbentuk di sekitar stator merupakan medan magnet yang berputar. Lain halnya dengan medan magnet yang terbentuk pada kumparan satu fase, dimana fluks magnet hanya berganti-ganti arah saja yang mengakibatkan motor sukar sewaktu akan dijalankan (star). Untuk memperbesar daya bagi perputaran motor sewaktu start maka diperlukan bantuan yang prinsipnya membentuk medan magnet baru yang berbeda fase dengan medan magnet utama. Dalam hal ini berarti harus terdapat aliran listrik baru yang tidak sefase dengan aliran listrik yang mengalir pada kumparan utama (main winding).



Dengan demikian berarti harus terdapat kumparan kedua yang terpisah dari kumparan utama.

Oleh karena itu sebenarnya pada motor split fase menggunakan listrik 1 fase, tetapi didalam lilitan stator terdapat arus listrik 2 fase, yang mengalir pada kumparan utama dan kumparan kedua. Kumparan kedua ini umumnya disebut kumparan bantu (auxiliary winding).

Untuk membentuk dua buah arus listrik yang berbeda fase digunakan sistem penggeser fase sehingga dari 1 fase listrik yang dimasukkan kemudian di dalam motor terbentuk listrik 2 fase. Umumnya hal ini dapat dilaksanakan dengan memasang sebuah rangkaian kumparan induktor maupun kapasitor secara seri pada kumparan bantu. (Sumanto, 1993:12)



Gambar 2.4 Bentuk Fisik Motor Satu Fasa.

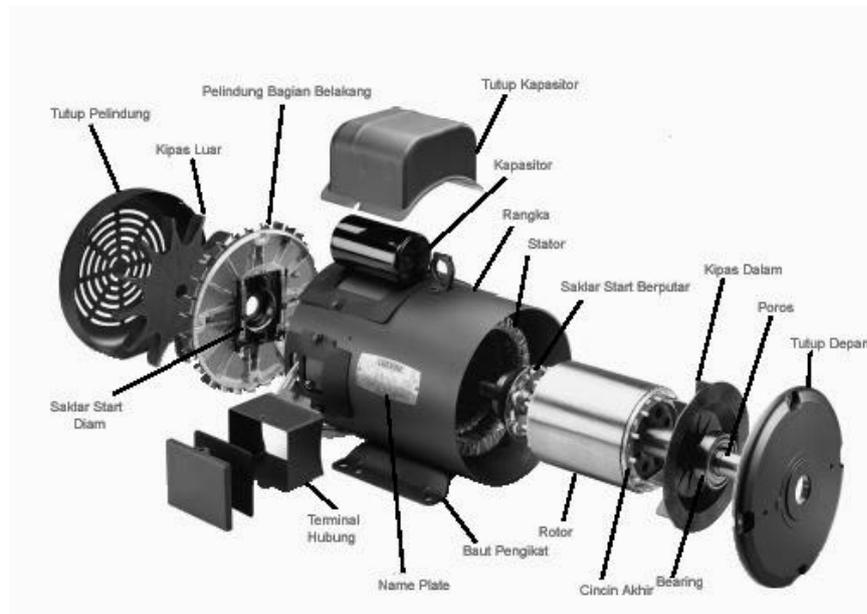
Adapun pengelompokkan motor satu fase sebagai berikut: (Sumanto, 1993:11)

- A. Motor Induksi (induction motor)
 - 1. Motor fase belah (split fase motor)
 - Motor kapasitor (capasitor motor)
 - a. Kapasitor start (start capasitor motor)
 - b. Kapasitor tetap (permanent capasitor motor)
 - 2. Motor kutub bayangan (shaded pole motor)
- B. Motor Repulsi (Repulsion Motor)
 - 1. Induksi repulsi (repulsion induction)
 - 2. Start repulsi (repulsion start)
- C. Motor seri (universal motor, series motor)



2.3 Konstruksi Umum

Konstruksi motor induksi satu fasa hampir sama dengan konstruksi motor induksi tiga fasa, yaitu terdiri dari dua bagian utama yaitu stator dan rotor. Keduanya merupakan rangkaian magnetik yang berbentuk silinder dan simetris. Di antara rotor dan stator ini terdapat celah udara yang sempit.



Gambar 2.5. Konstruksi Umum Motor Induksi Satu Fasa

2.3.1 Stator

Stator adalah bagian motor listrik yang diam atau tidak berputar. Stator juga dibuat dengan menyusun dan mengepres pelat-pelat besi menjadi bentuk yang utuh dan rapi sebagai tempat semua kumparan. Biasanya stator pada motor induksi (kecuali pada motor kutub bayangan [shaded-pole motor]) mempunyai 24 alur tempat untuk masuknya semua kumparan, yaitu dua jenis kumparan dengan ukuran yang berbeda satu sama lain. (Indra Gunawan,2012:2)

Stator mempunyai bentuk alur yang tirus (*tapered*) dengan gigi yang sejajar (*parallel sided*). Alur pada stator adalah tempat kumparan utama dan kumparan



bantu berada. Prinsip dari stator motor induksi sama dengan motor atau generator sinkron. Dengan terdiri dari sejumlah slot yang nantinya untuk menempatkan belitan stator. Slot-slot tersebut ditempatkan dalam suatu rangka besi. Rangka tersebut mempunyai sirip-sirip besi yang berguna sebagai pendingin motor. (Diki Zulkarnain,2015:8)



Gambar 2.6 Stator

Fluks yang berputar pada stator akan menginduksi ke rotor, sehingga rotor juga akan berputar mengikuti medan putar stator. Diantara putaran rotor (N_r) dan putaran stator (N_s) tidak sama. Perbedaan antara putaran stator dan putaran rotor disebut slip (S).

Dari bagian motor yang lain (stator) dapat dibagi-bagi menjadi beberapa bagianantara lain sebagai berikut : (M Reza Fahlevi, 2015:21)

1. Rangka motor (*frame*)
2. Inti kutub magnet dan lilitan penguat magnet
3. Sikat



2.3.1.1 Rangka Motor (*Frame*)



Gambar 2.7 Rangka motor

Fungsi utama dari rangka atau *frame* adalah sebagai bagian dari tempat mengalirnya fluks magnet yang dihasilkan kutub-kutub magnet, karena itu beban motor dibuat dari bahan feromagnetik. Disamping itu badan motor ini berfungsi untuk meletakkan alat-alat tertentu dan melindungi bagian-bagian mesin lainnya. Biasanya pada motor terdapat papan nama atau *name plate* yang bertuliskan spesifikasi umum dari motor.

2.3.1.2 Inti Kutub Magnet dan Lilitan Penguat Magnet

Sebagaimana diketahui bahwa fluks magnet yang terdapat pada motor arus searah dihasilkan oleh kutub magnet buatan yang dibuat dengan prinsip elektromagnetis. Lilitan penguat magnet ini berfungsi untuk mengalirkan arus listrik agar terjadi proses elektromagnetis.

2.3.1.3 Sikat-sikat dan Pemegang Sikat

Fungsi dari sikat adalah sebagai jembatan bagi aliran arus dari sumber. Disamping itu sikat memegang peranan penting untuk terjadinya komutasi, agar gesekan antara sikat dan komutator sehingga sikat harus lebih lunak dari pada komutator, biasanya terbuat dari bahan arang. Sikat-sikat akan aus selama operasi dan tingginya akan berkurang, arus yang diizinkan ditentukan oleh konstruksi dari pemegang sikat (*gagang-sikat*). Bagian puncak dari sikat diberi plat tembaga guna mendapatkan kontak



yang baik antara sikat dan dinding pemegang sikat. Bila sikat-sikat terdapat pada kedudukan yang benar baut harus dikuatkan sepenuhnya, hal ini menetapkan jembatan sikat dalam suatu kedudukan yang tidak dapat bergerak pada pelindung ujung. Sedangkan tiap-tiap gagang sikat dilengkapi dengan suatu pegas yang menekan ada sikat melalui suatu sistem tertentu sehingga sikat tidak terjepit.

2.3.2 Rotor

Rotor merupakan bagian yang bergerak atau berputar. Bagian ini terdiri dari: inti rotor, kumparan rotor, dan alur rotor. Pada umumnya ada dua jenis kumparan rotor yang sering digunakan pada motor induksi, yaitu rotor belitan (*phase wound rotor*) dan rotor sangkar (*squirrel cage rotor*). (Diki Zulkarnain, 2015:9)

1. Rotor Sangkar



Gambar 2.8 Rotor sangkar

Motor induksi rotor sangkar konstruksinya sangat sederhana, yang mana motor dari rotor sangkar adalah konstruksi dari inti berlapis dengan konduktor dipasang paralel, atau kira-kira paralel dengan poros yang mengelilingi permukaan inti. Konduktornya tidak terisolasi dari inti karena arus rotor secara alamiah akan mengalir melalui tahanan yang paling kecil konduktor rotor. Pada setiap ujung rotor, konduktor



rotor semuanya dihubung singkatkan dengan cincin ujung. Konduktor rotor dan cincin ujung serupa dengan sangkai tupai yang berputar sehingga dinamakan demikian. Batang rotor dan cincin ujung sangkar tupai yang lebih kecil adalah coran tembaga atau alumunium dalam satu lempeng pada inti rotor. Dalam motor yang lebih besar batang rotor tidak dicor melainkan dibenamkan kedalam alur kemudian dilas dengan kuat ke cincin ujung. (Lister, 1993:211)

2. Rotor Belitan

Rotor lilit terdiri atas belitan fasa banyak, belitan ini dimasukkan ke dalam alur-alur inti rotor. Belitan ini sama dengan belitan stator, tetapi belitan selalu dihubungkan secara bintang. Tiga buah ujung-ujung belitan dihubungkan ke terminal-terminal sikat atau cincin seret yang terletak pada poros rotor. Pada jenis rotor lilit kita dapat mengatur kecepatan motor dengan cara mengatur tahanan belitan rotor tersebut. Pada keadaan kerja normal sikat karbon yang berhubungan dengan cincin seret tadi dihubung singkat. Motor induksi rotor lilit dikenal dengan sebutan Motor Induksi Slipring atau Motor Induksi Rotor Lilit.(Mayyudi, 2015:8)



Gambar 2.9 Rotor Belit



2.3.3 Bantalan (*bearing*)



Gambar 2.10 Bentuk fisik bearing

Bantalan (*bearing*) adalah elemen mesin yang menumpu poros yang mempunyai beban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman, dan mempunyai umur panjang. *Bearing* harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik. Jika *bearing* tidak berfungsi dengan baik maka prestasi seluruh sistem tidak dapat bekerja secara semestinya. (Dikki Zulkarnain, 2015:10)

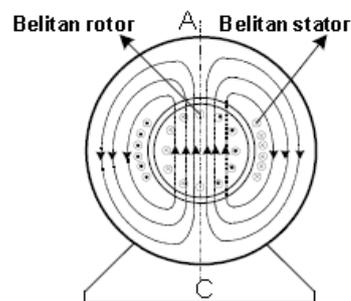
2.4 Prinsip Motor Induksi Satu Fase

Dalam motor induksi dua-fase, kumparan fase terpisah sejauh 90 derajat listrik pada permukaan stator. Jika kumparan ini di eksitasi dengan tegangan dua-fase yaitu tegangan yang berbeda fase dalam waktunya sebesar 90 derajat, arus fase yang dihasilkan berbeda 90°. Setiap arus menghasilkan medan bolak-balik atau berdenyut, tetapi gabungan dari medan ini menghasilkan medan putar tunggal seperti dalam motor tiga fase. Medan putar yang menyapu konduktor – konduktor rotor menginduksikan arus dalam konduktor tersebut yang menyebabkan dihasilkannya kopel yang searah dengan putaran medan. Inilah prinsip dasar kerja motor dua-fase.

Jika tegangan satu-fase dikenakan pada lilitan stator motor induksi satu fase arus bolak balik akan mengalir dalam lilitan tersebut. Arus stator ini membangkitkan

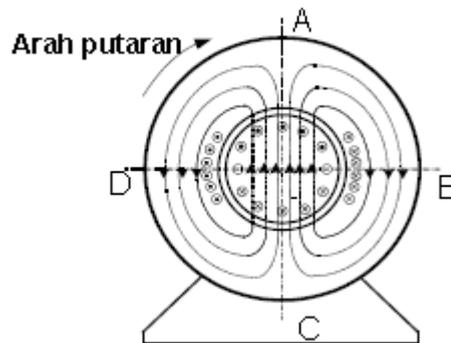


medan yang serupa dengan yang ditunjukkan gambar 2.11. Selama setengah siklus di mana arus stator sedang mengalir seperti arah yang ditunjukkan kutub selatan terbentuk pada permukaan stator di A dan kutub utara di C. Selama setengah siklus berikutnya, kutub stator dibalik. Walaupun kuat medan stator berubah dan polaritasnya dibalik secara periodik, aksinya selalu disepanjang garis AC. Jadi medan ini tidak berputar tetapi merupakan medan stasioner yang berdenyut. (Lister, 1993:244)



Gambar 2.11 Medan stator berdenyut sepanjang garis AC. Tidak ada kopel yang dihasilkan

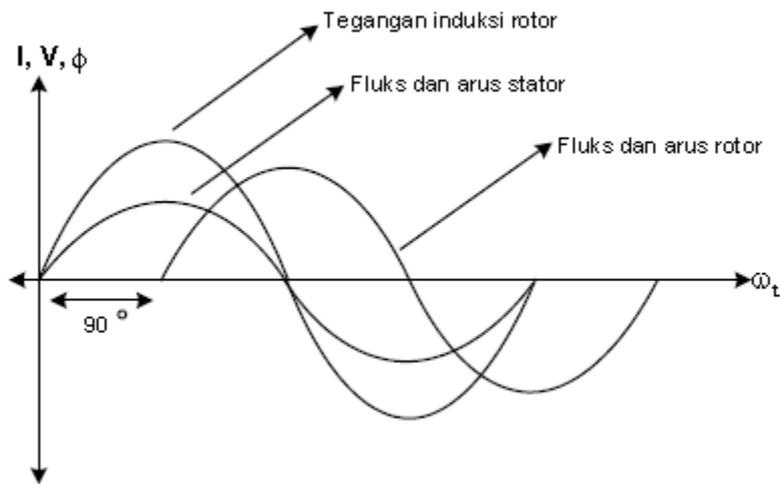
Seperti halnya dalam transformator, tegangan diinduksikan dalam rangkaian sekunder yang dalam hal ini rotor. Karena rotor dari motor induksi satu fasa pada umumnya adalah sangkar tupai yang serupa dengan motor fasa banyak, arus rotornya mengalir seperti yang ditunjukkan gambar 2.11. Arus rotor ini membentuk kutub pada permukaan rotor, tetapi karena kutub ini selalu selalu dalam garis lurus (sepanjang garis AC) dengan kutub stator, tidak ada momen putar yang dihasilkan pada kedua arah sehingga rotor tetap diam. Dengan demikian, motor induksi satu fasa tidak dapat diasut sendiri dan membutuhkan rangkaian bantu untuk menjalankannya.



Gambar 2.12 Motor Dalam Keadaan Berputar

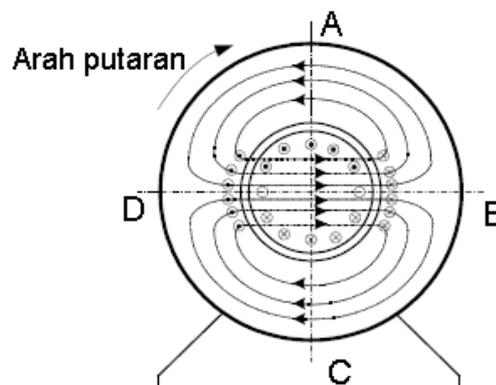
Misalkan sekarang motor sedang berputar. Hal ini dapat dilakukan dengan memutar secara manual (dengan tangan) atau dengan rangkaian bantu. Konduktor-konduktor rotor akan memotong medan magnet stator sehingga timbul gaya gerak listrik pada konduktor-konduktor tersebut. Hal ini diperlihatkan pada Gambar 2.12 yang menunjukkan rotor sedang berputar searah jarum jam.

Jika fluks rotor seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.12 mengarah ke atas sesuai dengan kaidah tangan kanan Fleming, arah gaya gerak listrik (ggl) rotor akan mengarah keluar kertas pada setengah bagian atas rotor dan mengarah ke dalam kertas pada setengah bagian bawah rotor. Pada setengah periode berikutnya arah dari gaya gerak listrik yang dibangkitkan akan terbalik. Gaya gerak listrik yang diinduksikan ke rotor adalah berbeda dengan arus dan fluks stator. Karena konduktor-konduktor rotor terbuat dari bahan dengan tahanan rendah dan induktansi tinggi, maka arus rotor yang dihasilkan akan tertinggal terhadap gaya gerak listrik rotor mendekati 90° . Gambar 2.13 menunjukkan hubungan fasa dari arus dan fluks stator, gaya gerak listrik, arus dan fluks rotor.



Gambar 2.13 Fluks rotor tertinggal terhadap fluks stator sebesar 90°

Seuai dengan kaidah tangan kanan Karena medan silang beraksi pada sudut 90° dengan kaidah tangan kanan Fleming, arus rotor ini akan menghasilkan medan magnet, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.14, terjadi pada saat seperempat periode setelah gaya gerak listrik rotor yang dibangkitkan adalah telah mencapai nilai maksimumnya. Karena arus rotor yang mengalir disebabkan oleh suatu gaya gerak listrik bolak-balik maka medan magnet yang dihasilkan oleh arus ini adalah juga bolak-balik dan aksi ini terjadi sepanjang sumbu DB (lihat gambar 2.14)

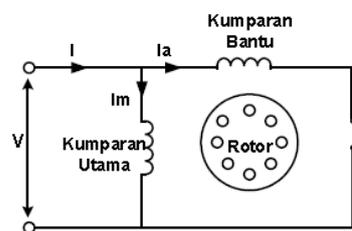


Gambar 2.14 Medan silang yang dibangkitkan arus stator



2.5 Motor Fasa Terpisah

Motor fasa terpisah (split-phase motor) termasuk dalam kategori motor induksi. Sama persis dengan motor induksi yang lain. Gambar rangkaian motor induksi fasa terpisah ditunjukkan pada Gambar 2.15. Kumparan bantu memiliki perbandingan tahanan terhadap reaktansi yang lebih tinggi daripada kumparan utama, sehingga kedua arus akan berbeda fasa seperti yang ditunjukkan pada



Gambar 2.15. Rangkaian motor fasa terpisah

2.6 Motor Kapasitor

Ada dua jenis kapasitor yang digunakan oleh motor listrik satu fasa : (Indra Gunawan, 2012:7)

1. Kapasitor Start

Kapasitor start adalah jenis kapasitor yang berguna untuk membantu motor listrik waktu pertama start yang tidak boleh terlalu lama dialiri arus listrik (sekitar w detik saja). Kalau terlalu lama dialiri arus listrik, kapasitor tersebut akan terlalu panas dan cepat rusak. Oleh karena itu, dalam pemasangannya kapasitor start harus selalu disambung dengan relai (saklar sentrifugal). Kapasitor start ini mempunyai ukuran kapasitas penyimpanan arus atau ukuran mikروفarad yang besar. Contoh ukuran kapasitor start adalah 200 MF 250 VAC



2. Kapasitor Running

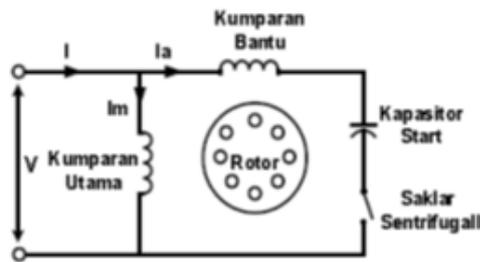
Kapasitor running adalah jenis kapasitor yang boleh terus-menerus dialiri arus listrik. Cara pemasangannya adalah dengan disambung secara seri dan permanen dengan kumparan bantu. Kapasitor running mempunyai ukuran yang lebih kecil apabila dibandingkan dengan ukuran kapasitas penyimpanan arus kapasitor start. Contoh ukuran kapasitor running adalah 16 MF 250 VAC

2.6.1 Motor Kapasitor Start (Capasitor start motor)

Motor kapasitor start mempunyai konstruksi dan sistem sambung kumparan yang hampir sama dengan tipe motor kapsitor yang lain. Hanya saja, pada motor kapasitor start ini kapasitornya (kapasitor start) disambung secara seri dengan sakelar sentrifugal dan kumparan bantu sehingga arus listrik juga dapat mengalir ke kumparan bantu dan kapasitor melalui sakelar sentrifugal untuk membantu saat motor listrik ini start. Kalau putaran rotor hampir mencapai putaran penuh, sakelar sentrifugal akan memutuskan atau menyetop arus listrik yang mengalir ke kumparan bantu dan kapasitor. Setelah rotor berputar normal, kumparan yang berfungsi adalah kumparan utama saja karena arus listrik hanya mengalir ke kumparan ini. Kelebihan motor kapasitor start adalah tenaganya lumayan kuat dan perawatannya juga sangat mudah. Sedangkan kekurangannya adalah motor kapsitor start akan sedikit bergetar sewaktu rotor berputar. Getaran timbul karena perbedaan kekuatan medan magnet dari kumparan utama dan rotornya. (Indra Gunawan, 2012:9)



Gambar 2.16. Konstruksi motor kapasitor start



Gambar 2.17. Rangkaian motor kapasitor start

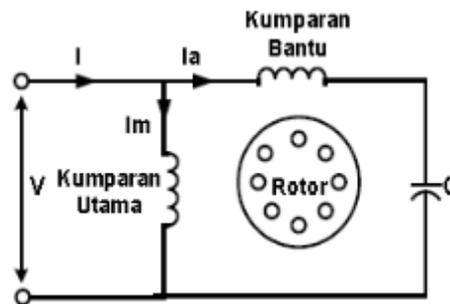
2.6.2 Motor Kapasitor Permanen (*Running*)

Motor ini mempunyai kapasitor yang dihubungkan seri dengan kumparan bantu, terhubung paralel dengan kumparan utama dan terhubung langsung paralel dengan sumber listrik. Belitan utama, lilitan bantu dan kapasitor tetap terhubung pada sirkuit jala-jala saat motor bekerja. (Lister, 1993:248)

Jenis motor ini banyak digunakan pada pompa air satu fasa, dimana lilitan utama dan bantu jumlah lilitannya sama banyak tetapi diameter kawatnya berbeda



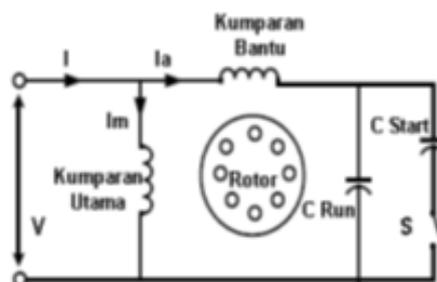
Gambar 2.18. Konstruksi motor kapasitor permanen



Gambar 2.19. Rangkaian motor kapasitor permanen

2.6.3 Motor Kapasitor Start – Kapasitor Run

Motor ini mempunyai dua buah kapasitor, satu digunakan pada saat start dan satu lagi digunakan pada saat berputar, seperti ditunjukkan pada gambar 2.23. Secara praktis keadaan start dan berputar yang optimal dapat diperoleh dengan menggunakan dua buah kapasitor elektrolit. Kapasitor Run secara permanen dihubungkan seri dengan kumparan bantu dengan nilai yang lebih kecil dan dipakai kapasitor kertas. Sudut fasa antar kumparan sama seperti pada motor kapasitor permanen seperti pada gambar 2.24.



Gambar 2.20. Rangkaian motor kapasitor start-kapasitor run



2.7 Bahan Penghantar (Konduktor)



Gambar 2.21 Bahan Penghantar

Bahan konduktor yang digunakan adalah bahan yang menghantarkan listrik dengan mudah. Bahan ini mempunyai daya hantar listrik (*electrical conductivity*) yang besar dan tahanan listrik (*electrical resistance*) kecil. Bahan penghantar listrik berfungsi untuk mengalirkan arus listrik. (Dikki Zulkarnain, 2015:12)

Bahan-bahan yang dipakai untuk konduktor harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut:

1. Konduktifitasnya cukup baik.
2. Kekuatan mekanisnya (kekuatan tarik) cukup tinggi.
3. Koefisien muai panjangnya kecil.
4. Modulus kenyalnya (modulus elastisitas) cukup besar.

Bahan-bahan yang biasa digunakan sebagai konduktor antara lain logam biasa seperti tembaga, aluminium, besi dan sebagainya. Bahan penghantar yang paling banyak dipakai adalah tembaga, karena tembaga merupakan bahan penghantar yang paling baik setelah perak dan harganya pun murah.



2.8 Kawat Kumparan



Gambar 2.22 Kawat kumparan

Tembaga mempunyai daya hantar listrik yang baik mempunyai hambatan jenis $1,67 \times 10^{-8}$ titik leleh pada kawat tembaga yaitu $1083 \text{ }^\circ\text{C}$ dan titik panas $2595 \text{ }^\circ\text{C}$ dan konduktivitasnya adalah $0,944$ maka dari itu penulis memilih kawat tembaga sebagai penghantar listrik yang akan digunakan dalam melilit ulang kumparan stator. (Dikki Zulkarnain, 2015:12)

Tabel 2.1 Hambatan masa jenis

Jenis Bahan	Hambatan Jenis ($\Omega\text{mm}^2 / \text{m}$)
Tembaga Lunak	0,0167
Tembaga Keras	0,175
Alumunium	0,03
Seng	0,12
Timah	0,13
Besi	0,13
Perak	0,164
Baja	0,10 – 0,25
Timah Hitam	0,21
Nikelin	0,42



2.9 Perbaikan Motor Kapasitor Satu Fasa

Motor yang sudah lama dioperasikan akan mengalami kemunduran kemampuan baik dari umur kumparan maupun kinerjanya. Motor yang mengalami gangguan berupa kumparan statornya mengalami hubungan singkat (*short winding*) atau kumparannya terbakar (*burned winding*) maka harus diganti dengan kumparan baru. (Dikki Zulkarnain, 2015:14)

Penggulungan ulang kumparan (*rewinding*) motor induksi tiga fasa harus mengacu pada langkah-langkah dibawah ini :

1. Pengambilan data dari sebuah motor induksi diperoleh dari lembar data (*name plate*) yang ada pada beban motor. Lembar data (*name plate*) dari sebuah motor induksi tiga fasa.
2. Pembongkaran motor yang rusak.
3. Pembongkaran kumparan stator yang rusak akibat hubung singkat (*short cicuit*), maka hal-hal berikut harus dihitung terlebih dahulu
 - a. Jenis hubungan motor
 - b. Jenis gulungan motor
 - c. Langkah per coil
 - d. Jumlah spul
 - e. Jumlah slot
 - f. Jumlah coil
 - g. Ukuran kawat
4. Pemasangan isolasi pada alur stator
Pemasangan isolasi harus mengacu kepada kelas isolasi kumparan dan suhu maksimum yang diperbolehkan serta batas kenaikan suhu dari motor.
5. Penggulungan ulang kumparan (*rewinding*) motor
6. Test kumparan
7. Pemasangan motor
8. Uji jalan motor.



2.10 Hal-hal Yang Harus Diperhitungkan Dalam Penggulungan Ulang Kumparan (*Rewinding*) Motor Kapasitor Satu Fasa

2.10.1 Daya

Daya adalah sebagai laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Satuan SI daya listrik adalah *watt* yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir per satuan waktu (*joule/detik*). (Zuhal, 1988:31)

Arus listrik yang mengalir dalam rangkaian dengan hambatan listrik menimbulkan kerja. Peranti mengkonversi kerja ini ke dalam berbagai bentuk yang berguna, seperti panas (seperti pada pemanas listrik), cahaya (seperti pada bola lampu), energi kinetik (motor listrik), dan suara (*loudspeaker*). Listrik dapat diperoleh dari pembangkit listrik atau menyimpan energi seperti baterai. Daya input dapat dihitung dengan persamaan 2.1 berikut ini :

$$P_i = V \cdot I \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (2.1)$$

Daya output dapat dihitung dengan persamaan 2.2 berikut ini : (Siswoyo, 2008:5)

$$P_o = \frac{\tau \cdot n}{9,55} \dots\dots\dots (2.2)$$

Effisiensi motor dapat dihitung dengan persamaan 2.3 berikut :

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\% \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

P_i = Daya input (*Watt*)

P_o = Daya output (*Watt*)

η = Effisiensi (%)

V = Tegangan nominal motor (*Volt*)

I = Arus nominal motor (*Ampere*)

τ = Torsi (Nm)

n = Kecepatan putaran (Rpm)



2.10.2 Kumparan Stator

Langkah kumparan adalah sudut kisar yang dibentuk antara kedua sisi kumparan dan diberi dengan tanda huruf Y_g . Untuk mendapatkan kopel putar yang maksimal, maka langkah kumparan harus sama dengan satu jarak kutub. Satu jarak kutub adalah kisar sudut antara kutub utara (U) dan kutub selatan (S) yang paling berdekatan. Sedangkan jarak kutub diberi tanda θ (δ) dan satu jarak kutub adalah 180° listrik. Apabila jumlah pasang kutub suatu motor adalah p , maka jumlah kutubnya adalah $2p$ dan perbandingan antara derajat lingkaran (derajat busur= $^\circ bs$) dan derajat listrik ($^\circ el$). (Alkula Faurasyidi, 2011:8)

Apabila jumlah alur pada stator motor induksi 1 fasa ada G alur, maka kisar sudut satu kali keliling stator atau G alur adalah $360^\circ bs$. Apabila sebuah motor mempunyai sebanyak G alur adalah $= p.360^\circ el$. satu keliling stator = $2p$ jarak kutub.

Jadi, satu jarak kutub = $1E = 180^\circ el = \frac{G}{2p \cdot Alur}$ karena langkah kumparan

$Y_g = 1E$, maka langkah kumparan menjadi $Y_g = \frac{G}{2p \cdot Alur}$ untuk motor satu fasa yang mempunyai satu pasang kutub dengan satu buah kumparan akan mempunyai

$$Y_g = \frac{G}{2p} \dots\dots\dots (2.4)$$

Untuk menentukan kumparan tiap kelompok pada motor induksi satu fasa sebagai berikut :

$$q = \frac{G}{2p \cdot m} \dots\dots\dots (2.5)$$

Untuk mengetahui jumlah kutub atau pasang kutub magnet digunakan rumus :

$$\text{Jumlah pasang kutub} = \frac{60 \cdot f}{n} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

Y_g = Langkah kumparan.

G = Jumlah Alur.



- $2p$ = Jumlah kutub.
 P = Jumlah pasang kutub.
 q = Banyaknya kumparan tiap kelompok.
 m = Jumlah fasa.

2.10.3 Kecepatan Putaran Motor

Kecepatan perputaran medan magnetik motor (perputaran sinkron) N_s , dimana besarnya ditentukan oleh jumlah kutub frekuensi (2 kutub, 4 kutub, 6 kutub, dan 8 kutub). Perputaran sinkron ini biasanya lebih besar dari pada perputaran nominal motor (perputaran beban penuh, n) yang ada pada lembar data (*name plate*). Prinsip perputaran medan magnetik perputaran sinkron (N_s) diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.7 berikut ini : (Lister, 1993:213)

Dalam lilitan dua kutub medan membuat satu putaran penuh dalam satu siklus arus. Dalam lilitan empat kutub yang mana setiap fasa mempunyai dua grup kumparan terpisah yang dihubungkan seri, dapat ditunjukkan bahwa medan magnet putar membuat satu putaran dalam dua siklus arus. Dalam lilitan enam kutub, medan membuat satu putaran dalam tiga siklus arus. Secara umum medan membuat satu putaran dalam $P/2$ siklus atau

$$\text{Siklus} = \frac{P}{2} \times \text{putaran}$$

Atau

$$\text{Siklus per detik} = \frac{P}{2} \times \text{putaran per detik}$$

Oleh karena putaran per detik sama dengan putaran per menit, putaran (n) dibagi 60 dan banyaknya siklus per detik adalah frekuensi (f), maka

$$f = \frac{P}{2} \times \frac{n}{60} = \frac{Ns.p}{120}$$

$$N_s = \frac{120xf}{P} \dots\dots\dots (2.7)$$



Kecepatan putar dari medan magnet putar disebut kecepatan sinkron atau kecepatan stator dari motor.

Dimana :

N_s = perputaran sinkron (*Rpm*)

f = frekuensi (*Hz*)

p = jumlah kutub (*2 kutub, 4 kutub, 6 kutub, dan 8 kutub*)

2.10.4 Reaktansi

Reaktansi induktif menyebabkan arus tertinggal di belakang tegangan yang digunakan, sedangkan rangkaian kapasitif menyebabkan arus mendahului tegangan. Oleh sebab itu, jika reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif dihubungkan secara seri, pengaruhnya saling menetralkan dan pengaruh gabungannya adalah selisihnya. Pengaruh gabungan antara reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif disebut reaktansi dan ditentukan dengan menggunakan reaktansi kapasitif dari reaktansi induktif, atau dalam persamaan sebagai berikut : (Lister, 1993:140)

$$X = X_L - X_C \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

X = Reaktansi (Ω)

X_L = Reaktansi induktif (Ω)

X_C = Reaktansi kapasitif (Ω)

2.10.5 Impedansi

Impedansi adalah total perlawanan yang diberikan oleh rangkaian terhadap aliran arus. Ini merupakan pengaruh gabungan tahanan dan reaktansi dari suatu rangkaian. Simbol impedansi adalah Z , dan diukur dalam satuan ohm. Impedansi rangkaian ac sama dengan tegangan efektif



yang dikenakan dibagi dengan arus efektif yang mengalir, atau (Lister, 1993:140)

$$Z = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

Z = Impedansi (Ω)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

Dalam rangkaian yang hanya mengandung tahanan, penurunan IR sefase dengan arus. Dalam rangkaian yang mengandung reaktansi induktif saja, penurunan IX_L mendahului arus 90° , yang tentu saja ekuivalen dengan mengatakan arus tertinggal 90° dari penurunan IX_L . Demikian juga halnya dalam rangkaian kapasitif penurunan IX_C tertinggal 90° dari arus. Dalam rangkaian yang mengandung baik tahanan maupun reaktansi, penurunan tegangan totalnya, atau penurunan IZ adalah sama dengan jumlah dari penurunan IR dan IX . Oleh karena penurunan IR dan IX berbeda fasa 90° , maka perbedaan fasa ini harus diperhitungkan jika keduanya dijumlah. Jumlah dari dua besara fasor seperti IR dan IX yang berbeda fasa 90° adalah $\sqrt{(IR)^2 + (IX)^2}$, maka :

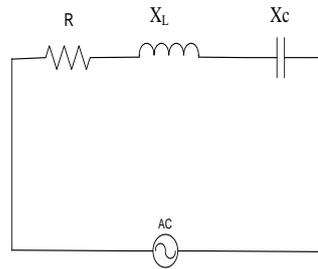
$$IZ = \sqrt{(IR)^2 + (IX)^2} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dan dengan membagi kedua belah sisi dengan I , hasilnya :

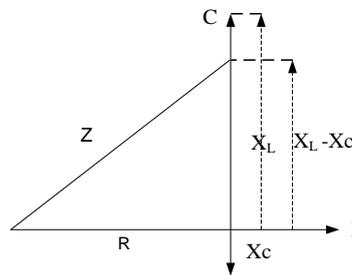
$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \dots\dots\dots (2.11)$$

Karena pengaruhnya berbeda, maka tahanan dan reaktansi tidak dapat dijumlahkan secara aritmatik tetapi harus digabungkan sesuai dengan hubungan yang diberikan dalam persamaan (2.10).

Oleh karena reaktansi telah didefinisikan sebagai $X_L - X_C$, pernyataan lengkap untuk impedansi dari suatu rangkaian seri adalah :



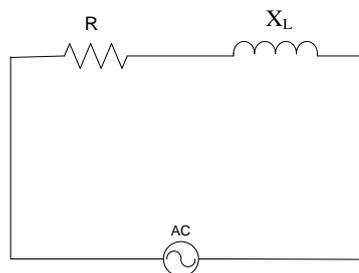
Gambar 2.23 Rangkaian Ekuivalen Seri RLC



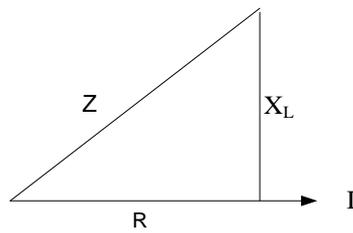
Gambar 2.24 Diagram fasor rangkaian RLC

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \dots\dots\dots (2.12)$$

Jika rangkaian mengandung X_C yang dapat diabaikan dibandingkan dengan R dan X_L , pernyataan diatas menjadi :



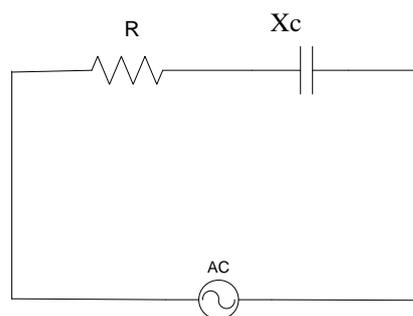
Gambar 2.25 Rangkaian ekuivalen seri RL



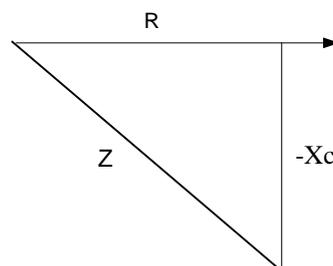
Gambar 2.26 Diagram fasor seri RL

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - 0)^2} = \sqrt{R^2 + X_L^2} \dots\dots\dots (2.13)$$

Demikian juga, jika rangkaian mengandung X_L yang dapat diabaikan, impedansi menjadi :



Gambar 2.27 Rangkaian seri RC



Gambar 2.28 Diagram fasor rangkaian RC

$$Z = \sqrt{R^2 + (0 - X_c)^2} = \sqrt{R^2 + (-X_c)^2} \dots\dots\dots (2.14)$$



Tanda minus tidak mempengaruhi besarnya harga Z , karena kuadrat dari minus sama dengan bilangan positif.

2.10.6 Hambatan Kawat

Hambatan kawat tembaga ditentukan untuk mengetahui kesalahan dari tebal kawat penghantar yang digunakan. Hambatan kawat tembaga yang digunakan dihitung dengan menggunakan persamaan 2.15 berikut ini: (Dikki Zulkarnain, 2015:17)

$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

- R = Hambatan kawat tembaga (Ω)
- V = Tegangan nominal motor (*Volt*)
- I = Arus nominal motor (*Ampere*)

2.10.7 Kepesatan dan Slip

Motor induksi tidak dapat berputar pada kepesatan sinkron. Seandainya ini mungkin dengan suatu cara, agar rotor dapat mencapai kepesatan sinkron, maka rotor akan tetap diam relatif terhadap fluksi yang berputar. Maka tidak akan ada ggl yang diinduksikan dalam rotor, tidak ada arus rotor yang mengalir, dan karenanya tidak akan dihasilkan kopel. Kepesatan rotor sekalipun tanpa beban, harus lebih kecil sedikit dari kepesatan sinkron agar arus dapat diinduksikan dalam rotor, sehingga menghasilkan kopel. Selisih antara kepesatan rotor dan kepesatan sinkron disebut slip. Slip dapat dinyatakan dalam putaran setiap menit, tetapi lebih umum dinyatakan sebagai persen dari kepesatan sinkron. (Lister, 1993:215)

$$\text{Persen slip} = \frac{\text{kepesatan sinkron} - \text{kepesatan rotor}}{\text{kepesatan sinkron}} \times 100$$



Atau pernyataan diatas dapat ditulis sebagai :

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100 \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana :

S = Slip motor (%)

N_s = Perputaran sinkron (*Rpm*)

N_r = Perputaran beban penuh (*Rpm*)

2.11 Kelas Motor

Macam-macam konstruksi motor induksi diklasifikasikan untuk memudahkan memilih motor yang sesuai. Klasifikasi itu, diantaranya yaitu : (Sumanto, 1993:93)

1. Motor rotor sangkar kelas A

Torsi *start* sekitar 125 sampai 175% torsi nominal dengan arus *start* 5 sampai dengan 7 kali arus nominal. Motor ini umumnya dijalankan dengan tegangan tidak penuh.

2. Motor rotor sangkar kelas B

Biasanya di *start* langsung dengan tegangan penuh, Reaktansinya relatif tinggi. Arus *start* sekitar 4,5 sampai 5 kali arus nominal dengan torsi 125 sampai dengan 175%. $\cos \phi$ motor kelas B lebih rendah dibanding $\cos \phi$ motor kelas A.

3. Motor rotor sangkar kelas C

Menggunakan rotor sangkar rangkap (*double squirrel cage*), biasanya di *start* dengan tegangan penuh. Arus *start* nya 4,5 sampai dengan 5 kali arus nominal dengan torsi *start* sekitar 2 kali torsi nominal.

4. Motor kelas D

Reaktansinya relatif tinggi, digunakan untuk pelayanan yang *starting* nya sangat berat. Efisiensi motor ini selalu lebih rendah dibandingkan efisiensi motor kelas A, B, dan C. Motor di *start* dengan tegangan penuh dengan arus *start* 4 sampai dengan 5 kali arus nominal. Sedangkan torsi



awalnya sekitar 2 sampai 3 kali torsi nominal. Digunakan misal pada *bulldozers*.

Catatan :

Kelas A : torsi awal normal, arus *start* normal.

Kelas B : torsi awal normal, arus *start* rendah.

Kelas C : torsi *start* tinggi, arus *start* rendah.

Kelas D : torsi *start* tinggi, slip tinggi.